

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-242115

(43)Date of publication of application : 07.09.1999

(51)Int.Cl.

G02B 5/28
// G01B 9/02

(21)Application number : 10-045870

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 26.02.1998

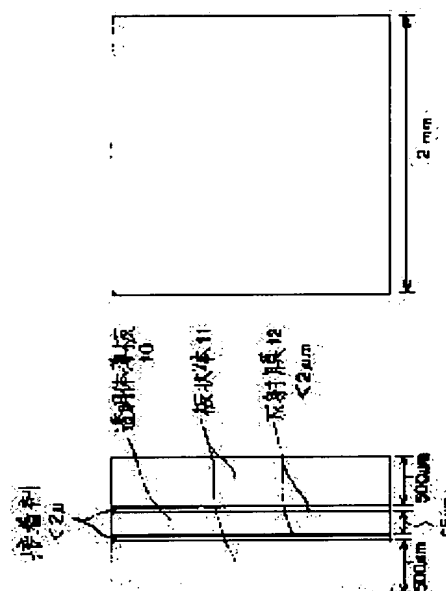
(72)Inventor : MITAMURA NOBUAKI
FUKUSHIMA NOBUHIRO

(54) OPTICAL ELEMENT WITHOUT TEMPERATURE DEPENDENCY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optimum optical element in which the characteristic temp. dependency is infinitely near to zero by providing a planar body having the coefficient of thermal expansion larger than the coefficient of thermal expansion of a transparent body thin plate and minimizing a product of the reflectance and the thickness of the transparent body thin plate depending on a temp. change at a nearly middle temp. in a use temp. range.

SOLUTION: A planar body 11 constituted of a separate material with the coefficient of thermal expansion larger than a transparent body thin plate 10 is stuck to the transparent body thin plate 10. Thus, even though the transparent body thin film 10 being a spacer is expanded due to heat, the thickness of the thin plate is changed and an optical distance that light passes is likely to be changed, the change in the optical distance of the transparent body thin film 10 is offset by the expansion of the planar body 11 with the large coefficient of thermal expansion. Then, the plate 10 is constituted so that a product of the reflectance and the thickness of the transparent body thin film 10 depending on the temp. change becomes minimum at the nearly middle temp. in the use temp. range. At this time, when the physical property value and the thickness of the transparent body thin plate 10 and the physical property value and the thickness of the planar body 11, etc., are selected suitably, the change of the optical distance of the transparent body thin plate 10 is made zero approximately.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection][Date of requesting appeal against examiner's decision of
rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-242115

(43)公開日 平成11年(1999) 9月7日

(51)Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 2 B 5/28

G 0 2 B 5/28

// G 0 1 B 9/02

G 0 1 B 9/02

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平10-45870

(22)出願日 平成10年(1998) 2月26日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番地
1号

(72)発明者 三田村 宣明

北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地
富士通北海道デジタル・テクノロジー株
式会社内

(72)発明者 福島 暢洋

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 大曾 義之 (外1名)

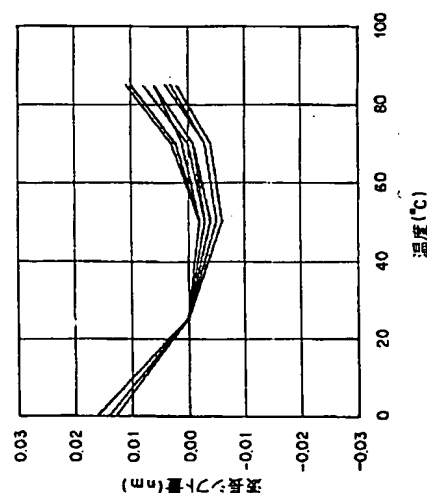
(54)【発明の名称】 温度依存性のない光素子

(57)【要約】

【課題】特性の温度依存性が限りなく零に近い光素子を実際の製造に即して検討し、最適な光素子の構成を提供する。

【解決手段】透明体薄板の両面の反射膜の上から、透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい、透明体薄板とは異なった材質の板状体を接着することにより、温度変化による透明体薄板の光学的距離の変化が板状体の膨張のため近似的に不変になる。しかし、実際には透明体薄板のソリッドエタロンとしての作用状態を示す出力光の波長は温度の変化によって僅かに変化し波長シフトを起こす。この波長シフトは光素子の物性値が温度に対して僅かに変化することによって起こる。そこで、波長シフト量の最小値が光素子を使用する温度範囲の中間点辺りに持ってくるようにすれば、該温度範囲全体にわたっての波長シフト量を最小限に抑えることが出来、高い精度で温度に依存しない光素子を作る事が出来る。

実際に作製されたソリッドエタロンの温度変化
に対する波長シフト量の変化を示す図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】内部で光を反射させる透明体薄板と、前記透明体薄板両面のうちの少なくとも一面に接着され、前記透明体薄板の熱膨張係数よりも大きな熱膨張係数を有する板状体とを備え、

温度の変化による該透明体薄板の屈折率と厚さの積が、使用温度範囲のほぼ中間の温度で最小になることを特徴とする光素子。

【請求項 2】前記板状体は、前記透明体薄板の両面に接着されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 3】前記透明体薄板の厚さは略 60 μm で、前記板状体の厚さは略 500 μm であることを特徴とする請求項 2 に記載の光素子。

【請求項 4】前記光素子に入射する光は、前記透明体薄板の一方の面の側のほぼ中央に入射されることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 5】前記透明体薄板の屈折率と厚さの積を温度の 2 次までの関数で近似し、この関数の温度の変化に関する極小点が、予想される該光素子の使用温度範囲のほぼ中間温度になるように、前記透明体薄板と前記板状体の物性値を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 6】0~85℃の温度範囲で、前記透明体薄板の熱膨張係数が 5~7 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、屈折率の温度係数が 3~5 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) であり、前記板状体の熱膨張係数が 14~15 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) であることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 7】前記透明体薄板の材質がランタンクラウンガラスであり、前記板状体の材質がフッ素クラウンガラスであることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 8】前記透明体基板として、LaC14 (HOYA 製)、S-LAL14 (オハラ製)、N14 (SCHOTT 製) のいずれかを使用し、板状体として、S-FPL53 (オハラ製)、FCD100 (HOYA 製) のいずれかを用いることを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 9】前記透明体薄板の厚さに対する前記板状体の厚さを調整することにより、所望の温度範囲で前記透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度を、所望の温度範囲のほぼ中心にしたことを特徴とする請求項 1 に記載の光素子。

【請求項 10】両面に光を反射する反射膜を有する透明体薄板と、該透明体薄板と異なる材質で構成され、該透明体薄板の両面に接着された、前記透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい板状体とを有し、温度変化によって生じる前記透明体薄板の厚さと屈折率との積の変化が、前記板状体の温度変化に伴って生じる体積の変化により前記透明体薄板が変形されることによって相殺され、前記透明体の厚さと屈折率の積が近似的に不変に保たれる光

素子において、

前記透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が 2 次的であり、所望の温度範囲で前記透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にあることを特徴とする光素子。

【請求項 11】0~85℃の温度範囲で、前記透明体薄板の熱膨張係数が 5~7 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)、屈折率の温度係数が 3~5 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) であり、前記板状体の熱膨張係数が 14~15 ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) であることを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

【請求項 12】前記透明体薄板の材質がランタンクラウンガラスであり、前記板状体の材質がフッ素クラウンガラスであることを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

【請求項 13】前記透明体基板として、LaC14 (HOYA 製)、S-LAL14 (オハラ製)、N14 (SCHOTT 製) のいずれかを使用し、板状体として、S-FPL53 (オハラ製)、FCD100 (HOYA 製) のいずれかを用いることを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

【請求項 14】前記透明体薄板の厚さに対する前記板状体の厚さを調整することにより、所望の温度範囲で前記透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度を、所望の温度範囲のほぼ中心にしたことを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

【請求項 15】前記透明体薄板の厚さが前記板状体の厚さの 7 分の 1 以下であることを特徴とする請求項 10 に記載の光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、特性が温度に依存しない光素子の構成に関する。

【0002】

【従来の技術】最近の高速通信網の整備に伴って、光通信の実用化のための研究開発が盛んに行われている。このような光通信においては、高速で大量の信号を伝送する必要があり、その一つの方法として波長分割多重方式が有力視されている。波長分割多重においては、搬送波の波長の異なる信号を狭い帯域に出来るだけ多く収納することによって、一度に送信する情報量を多くしようとする試みが行われている。

【0003】従って、異なる搬送波の波長を有する異なるチャネルの波長は、互いに非常に接近しており、これら互いに接近した波長を有するチャネルの信号を正しく送受信するためには、光通信網に使用される光学フィルタの波長に対する特性が安定していることが必要であり、わずかな特性の変化により光信号の送受信の質が劣化してしまう。

【0004】図 11 は、従来の光学フィルタとこれらが有する問題点を説明する図である。同図に示されるの

3

は、ソリッドエタロンの構成図である。ソリッドエタロンは、透明体で構成されたスペーサの両面に反射膜を形成したものである。反射膜の反射率は例えば、それぞれ90%である。

【0005】このようなソリッドエタロンに入射光が入射すると反射膜の間で多重反射を起こし、反射されない一部の光が出射光として出力される。出射光側では多重反射の度に出射される出射光が互いに干渉しあい、強め合う条件を満たした波長の光のみが出射光側に光束を作*

$$I_t = I / (1 + (4R / (1 - R)^2) \times \sin(2\pi n t \times \cos \theta / \lambda) \dots (1)$$

図12は、ソリッドエタロンの透過光の強度を波長に対して記載したものである（透過率100%を損失0dBとした）。

【0007】同図に示されているように、ソリッドエタロンは、特定の条件を満たす波長の光を透過する性質を有している。ところが、ソリッドエタロンの周囲の温度が上昇すると素子自体の特性も変化し、透過する光の波長が同図の太線から細線にずれてしまう。従って、受光側でソリッドエタロンを介して受信する光の波長が変わってしまうので、光システムが正常に働かなくなる可能性を有している。

【0008】このようにソリッドエタロンの特性が温度の上昇によって変わるのは、ソリッドエタロンに使用されている透明体のスペーサが温度によって膨張することによる。スペーサが膨張するとソリッドエタロンの反射膜間が広がると共に、屈折率も変化し、光が多重反射する間に通過する光学的距離が変化するので、素子自体の特性も変化してしまう。例えば、ソリッドエタロンのスペーサとしてSiO₂を用いた場合、温度が1度上がる

毎に厚さの変化はほとんど無いが、屈折率の変化が10⁻⁵程度あるので、10度温度が上がった時の屈折率と厚さの積（光学的距離）の変化は0.15nmに達し、無視できない大きさとなる。

【0009】上記のような問題点に対して、特開平9-257567号公報では、両面に光を反射する反射膜を有する透明体薄板と、該透明体薄板と異なる材質で構成され、該透明体薄板の少なくとも片面に密着された、透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい板状体とを有し、温度変化によって生じる前記透明体薄板の厚さと屈折率との積の変化が、板状体の温度変化に伴って生じる体積の変化により前記透明体薄板が変形されることによって相殺され、透明体の厚さと屈折率の積が近似的に不変に保たれる光素子が開示されている。この光素子は、透明体※

$$\Delta(n t) / n t = \alpha_1 + n_1 - (\alpha_2 - \alpha_1) \times (\sigma_0 + P_1 + P_2 \times (1 - \sigma_0)) \dots (2)$$

ここで、式(2)が零になるならば、温度変化に対し透明体薄板の光学的距離は変化しないことになるので、式(2)が近似的に零となるように光素子を構成する材質を選ぶことによって、温度上昇による特性の変化のない

4

*って出射され、その他の波長の光は弱め合って光束を形成しない。この光束を検出することによって、複数の波長が重ね合わされた入射光から特定の波長の光を取り出すことができる。エタロンから出射する透過光の強度I_tは、入射光の強度をI、反射膜の反射率をR、光の入射角をθ、スペーサの屈折率をn、スペーサの厚さ（反射膜の間隔）をt、波長をλとすると以下の式(1)で表される。

【0006】

※薄板が温度の上昇に伴って膨張を起こし、厚さが厚くなるとともに、屈折率も変化しようとしたとき、同時に透明体薄板に密着された板状体も膨張する。板状体の熱膨張係数は透明体薄板よりも大きいので、膨張する大きさも大きく、板状体は透明体薄板を引っ張って膨張することになる。透明体薄板は板状体によって引っ張られるので、機械的に透明体薄板が引き延ばされるようになる。この機械的に引き延ばされる効果により、温度上昇により変化した透明体薄板の厚さと屈折率との積の値の変化が相殺され、近似的に不変に保たれる。透明体薄板の両面にある反射膜で反射する光が伝搬する光学的距離は透明体薄板の厚さと屈折率との積によるので、これが温度によって不変に保たれることにより、透明体薄板を利用した光素子の特性も不変に保たれることになる。逆に、温度が下がる場合には透明体薄板が収縮を起こすが、これに伴い、厚さが薄くなる。しかし、透明体薄板に密着された板状体は透明体薄板よりもさらに収縮し、透明体薄板を更に収縮させる。これにより、透明体薄板の厚さは厚くなり、結果として、温度の上昇の場合と同じように、透明体薄板の厚さと屈折率の積が近似的に、温度変化に対し不変に保たれる。

【0010】更に特開平9-257567号公報では、透明体薄板の厚さと屈折率の積が近似的に温度変化に対し不変に保たれる定量的な原理が説明されており、透明体薄板の熱膨張係数をα₁、屈折率の温度係数をn₁、ポアソン比をσ（σ₀=2σ/(1-σ)）、屈折率の歪み係数の平行成分をP₁、垂直成分をP₂、板状体の熱膨張係数をα₂（α₁<α₂）としたとき、温度の変化による透明体薄板の光学的距離n tの変化の割合Δ(n t)/n tは、以下のような式で表せるとしている。

【0011】

光素子を形成できるとしている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら上記従来技術、特開平9-257567号公報記載の式(2)で

用いられている熱膨張係数 α_1 、 α_2 、屈折率の温度係数 n_1 等は、光学ガラスの場合、温度に対して一定ではなく、温度上昇によって僅かに増大することが多いため、透明体薄板の光学的距離 nt の変化の割合 $\Delta(nt)/nt$ は完全には一定とならず、温度上昇によって僅かに増加することが多い。このため、透明体薄板の光学的距離の変化の割合を完全に零にすることは困難である。

【0013】更に、透明体薄板が熱膨張係数の大きい板状体によって引っ張られ、機械的に引き延ばされると、板状体の厚さに比べて透明体薄板の厚さが厚くなると、引き延ばされる効果が実際には減少する。上記従来技術、特開平9-257567号公報では透明体薄板の厚さは板状体の厚さの5分の1以下が必要で、特に10分の1～20分の1が好ましいとされているが、実際にはこの範囲であっても、板状体の厚さや透明体薄板の厚さの影響は無視できない可能性がある。すなわち、式(2)では板状体の厚さや透明体薄板の厚さの影響を考慮していないのでこれだけでは不十分である。

【0014】このように単に上記従来技術、特開平9-257567号公報を実施したとしても、ソリッドエタロンなどの光素子の温度依存性を限りなく零に近づけることは困難である。

【0015】本発明の課題は、特性の温度依存性が限りなく零に近い最適な光素子の構成を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の光素子は、内部で光を反射させる透明体薄板と、前記透明体薄板両面のうちの少なくとも一面に接着され、前記透明体薄板の熱膨張係数よりも大きな熱膨張係数を有する板状体とを備え、温度の変化による該透明体薄板の屈折率と厚さの積が、使用温度範囲のほぼ中間の温度で最小になることを特徴とする。

【0017】本発明の他の側面における光素子は、両面に光を反射する反射膜を有する透明体薄板と、該透明体薄板と異なる材質で構成され、該透明体薄板の両面に接着された、前記透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい板状体とを有し、温度変化によって生じる前記透明体薄板の厚さと屈折率との積の変化が、前記板状体の温度変化に伴って生じる体積の変化により前記透明体薄板が変形されることによって相殺され、前記透明体の厚さと屈折率の積が近似的に不変に保たれる光素子において、前記透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が2次的であり、所望の温度範囲で前記透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にあることを特徴とする。

【0018】なお、本発明においては、必ずしも反射膜を有する必要はない。すなわち、透明体薄板の表面における反射率は、透明体薄板とこの表面に接する物質の屈

折率との比に関係するので、この屈折率の比が十分大きければ反射膜を有しなくても、反射膜を設けた場合と同様の効果を得ることが出来る。

【0019】また、板状体も必ずしも透明体薄板の両面に設ける必要はない。これは、特開平9-257567号にも記載されているように、片面だけであっても板状体が膨張することによる引っ張り力が透明体薄板に十分伝わり、機械的に透明体薄板を引っ張る作用が得られるからである。

10 【0020】本発明によれば、透明体薄板や板状体の熱膨張係数や屈折率の温度係数の温度依存性に起因する、透明体薄板の屈折率と厚さの積の温度変化に対する2次以上の効果を考慮しているので、実際の光素子の透明体薄板の屈折率と厚さの積が完全に一定にならなくても、その変化を所望の温度範囲内で最小に抑えることができる。従って、本発明の条件を満たす最適な物性値を有する材質を選択することで、実際に最適な光素子を実現することができる。

【0021】

20 【発明の実施の形態】本発明のソリッドエタロンでは、両面に光を反射する反射膜を有する透明体薄板と、透明体薄板と異なる材質で構成され、透明体薄板の両面に接着された、透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい板状体とを有し、温度変化によって生じる透明体薄板の厚さと屈折率との積の変化が、板状体の温度変化に伴って生じる体積の変化により透明体薄板が変形されることによって相殺され、透明体の厚さと屈折率の積が近似的に不変に保たれるソリッドエタロンにおいて、透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が2次的であり、所望の温度範囲で透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にあることを特徴とする。

30 【0022】前述したように、光学ガラスの場合、熱膨張係数 α_1 、 α_2 、屈折率の温度係数 n_1 等は、温度に対して一定ではなく、温度上昇によって僅かに増大することが多いため、透明体薄板の光学的距離 nt の変化の割合(温度勾配の傾き) $\Delta(nt)/nt$ は温度上昇によって僅かに増大する。このため、 $\Delta(nt)/nt$ を所望の温度範囲で最も零に近づけるためには、所望の温度範囲の中心で $\Delta(nt)/nt$ が零となるように調整する必要がある。これはちょうど、透明体薄板の光学的距離、即ち、透明体薄板の厚さと屈折率の積の温度による変化が2次的であり、所望の温度範囲で透明体薄板の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にあることである。

40 【0023】ここで、透明体薄板の厚さと屈折率の積の温度による変化が2次的というのは、上記積の温度変化の関数を温度でテイラー展開した場合に、2次の項まで考慮しているということである。そして、本発明では、50 この2次の項までの変化の最小となる点の位置が所望の

温度範囲のほぼ中心にあるということである。一般に、透明体薄板の厚さと屈折率の積の温度変化は温度に対する2次より高次の項まで含んでいるが、高次の項になるほど実際の素子の上記積の変化に及ぼす影響が小さいので、実際の素子を製造するにあたっては2次の項まで考慮すれば十分であるという知見に基づいて、実際の素子を製造する。

【0024】本発明では、0～85℃程度の温度範囲で上記の状態を実現するためには、0～85℃の温度範囲で透明体薄板の熱膨張係数が5～7（10⁻⁶/℃）程度、屈折率の温度係数が3～5（10⁻⁶/℃）程度であり、板状体の熱膨張係数が14～15（10⁻⁶/℃）程度であれば良いことが分かった。

【0025】実際に、透明体薄板の材質がLaC14（HOYA社製；ランタンクラウンガラス）であり、板状体の材質がS-FPL53（オハラ社製；フッ素クラウンガラス）であれば、この状態を実現できる。

【0026】さらに、前述したように、透明体薄板の光学距離 $n \cdot t$ の変化の割合は板状体の厚さや透明体薄板の厚さに影響を受けるので、前記透明体薄板の厚さに対する前記板状体の厚さを調整することにより、所望の温度範囲で前記透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度を、所望の温度範囲のほぼ中心にすることが出来る。

【0027】更に、上記各パラメータを上述のように取った場合、透明体薄板の厚さが板状体の厚さの7分の1以下であれば所望の特性が得られる。図1は本発明の実施形態を説明する図である。

【0028】同図に示されているのは、ソリッドエタロ*

$$n = n_0 + n_1 \times T - P_1 (\alpha_2 - \alpha_1) \times T - P_2 (\alpha_2 - \alpha_1) \times (1 - \sigma_0) \times T \cdots (3)$$

ここで、室温（25℃）に対する温度変化を T 、室温における透明体薄板10の屈折率を n_0 、屈折率の温度係数を n_1 、透明体薄板10の熱膨張係数を α_1 、ポアソン比を σ （ $\sigma_0 = 2\sigma / (1 - \sigma)$ ）、屈折率の歪み係数の平行成分を P_1 、垂直成分を P_2 、板状体11の熱膨張係数を α_2 （ $\alpha_1 < \alpha_2$ ）とした。

【0031】本実施形態では、有限要素法による計算か

*ンのスペーサとして用いられる透明体薄板10とその両面に成膜された反射膜12である。本発明の実施形態においては、この透明体薄板10に熱膨張係数が透明体薄板10よりも大きな別の材料で構成された板状体11を接着する。これにより、スペーサである透明体薄板10が熱によって膨張し、薄板の厚さが変わって光の通る光学距離が変化しようとしたとしても、熱膨張係数の大きな板状体の膨張により、透明体薄板の光学距離の変化を相殺するように構成する。

10 【0029】ここで、透明体薄板10の物性値（熱膨張係数、ポアソン比、屈折率の温度係数など）と厚さ、板状体11の物性値（熱膨張係数など）と厚さ等を適当に選択すれば透明体薄板10の光学距離の変化を近似的に零にすることが出来る。従来は、前述の式（2）で透明体薄板10の光学距離の変化が近似的に零となるような透明体薄板10と板状体11の組合せを選択していたが、前述したように式（2）では板状体11の厚さや透明体薄板10の厚さの影響を考慮していないので不十分である。このため本実施形態では、有限要素法を用いてソリッドエタロンの形状を考慮して各温度における透明体薄板の厚さの計算を行った。なお、有限要素法の計算はソリッドエタロンの構造の対称性を利用して実際の形状の1/8の3次元モデルを作り、20×20×10=4000要素に分割して計算した。なお、各温度における屈折率 n の計算は、前述の従来技術（特開平9-257567号公報）と同様の考え方により以下の式（3）を用いて計算した。

【0030】

ら、特に透明体薄板の材質として光学ガラスであるLaC14（HOYA社製）を、板状体の材質として光学ガラスであるS-FPL53（オハラ製）を選択した。LaC14、S-FPL53の物性値は表1に示す通りであり、

【0032】

【表1】

	LaC14	S-FPL53
屈折率(波長1530nm)	1.67369	—
屈折率の温度係数(0~85°C) [10 ⁻⁴ /°C]	3.75~4.45 (図6)	—
屈折率の歪み係数(平行成分)	0.225	—
屈折率の歪み係数(垂直成分)	0.225	—
熱膨張係数(0~85°C) [10 ⁻⁶ /°C]	6.0~6.3 (図7)	14.3~14.7 (図7)
ヤング率[10 ⁴ N/m ²]	1108	694
ポアソン比	0.293	0.302

【0033】これらの物性値を計算に用いた。本実施形態では、透明体薄板10の厚さを65 μ m、板状体11の厚さを500 μ mとした。その他の形状寸法は図1に記載の通りである。すなわち、透明体薄板10と板状体11の形状は2mm四方の正方形としている。また透明体薄板10と板状体11を接着する接着剤としては、接着強度の高い熱硬化性の2液混合型エポキシ系接着剤EPO-TEK353ND(Epoxy Technology Inc., 製)を用いた。また、反射膜12はTa₂O₅とSiO₂とを交互に積層した誘電体多層膜からなっており、波長1530nm~1570nmの範囲で反射率は90%程度である。なお、接着剤や反射膜12は、透明体薄板10や板状体11に比べて十分に薄く、温度による透明体薄板10の光学的距離の変化に影響がないことが有限要素法で確認されており、本実施形態の計算では無視している。

【0034】図2に有限要素法を用いて求めたソリッドエタロンの透明体薄板(LaC14)の厚さと式(3)から計算した屈折率の温度変化の結果を示す。また、比較として、同図に熱膨張係数の大きい板状体を接着していない場合の透明体薄板の計算結果を示す。同図から分かる様に、板状体無しでは温度上昇による熱膨張で厚さが増大すると共に、屈折率も上昇している。このため、透明体薄板の厚さと屈折率の積である光学的距離は図3に示すように温度上昇によってかなり大きくなっている。それに対して、板状体を接着した本実施形態では、図2に示されるように、温度上昇により透明体薄板が板状体によって機械的に引き延ばされるため、厚さは逆に薄くなっている。また、式(3)から明らかのように屈折率も温度歪みによる減少分があるため、温度勾配が低くなる。このため、本実施形態では、透明体薄板の厚さの変化と屈折率の変化がちょうど相殺され、透明体薄板の厚さと屈折率の積である光学的距離は図3に示すよう

に温度上昇による変化が非常に小さくなる。次に透明体薄板の光学的距離からソリッドエタロンの透過光の波長特性を式(1)により計算し、温度による透過光ピークの波長シフト量を表したものを図4に示す。ここで波長シフト量が正であるのは透過光の波長が長くなることを意味する。透過波長は光学的距離に比例するので、板状体無しに比べて、板状体を接着した本実施形態では、温度上昇による波長シフト量が非常に小さい。

【0035】更に、図5に本実施形態の温度による波長シフトの計算値を波長レンジを拡大して示すが、波長の温度変化は2次的に(近似的に2次関数のように)変化している。これは、図6、及び図7に示されるようにLaC14とS-FPL53の熱膨張係数や屈折率の温度係数が温度上昇によって少しずつ増加することによるものである。

【0036】次に、同様に透明体薄板の厚さに対する板状体の厚さを変えて波長シフト量を計算した結果を図8に示す。ここでは、板状体の厚さは変えずに、透明体薄板の厚さを変えて計算を行った。図8から分かるように板状体に対する透明体薄板の厚さが厚くなるに従って、波長シフトの温度勾配が正方向になっている。これは、板状体の厚さに比べて透明体薄板の厚さが厚くなるに従って、透明体薄板が熱膨張係数の大きい板状体によって機械的に引き延ばされにくくなっているためである。このように波長特性の温度依存性を零に近づけるためには、単に材料の物性値を選択するだけでなく、透明体薄板の厚さに対する板状体の厚さを最適に調整する必要がある。実際には透明体薄板の厚さを変えるとソリッドエタロンの透過特性の半値幅やピークからピークまでの幅(フリースペクトルレンジ)が変化してしまうので、板状体の厚さを調整した方がより好ましい。

【0037】本実施形態で、板状体(S-FPL53)の厚さを500 μ m、透明体薄板(LaC14)の厚さ

を $65\mu\text{m}$ (板状体の厚さの 7 分の 1 から 8 分の 1 程度) とした時、 $0\sim 85^\circ\text{C}$ の温度範囲で、透過波長、すなわち光学的距離 (透明体の厚さと屈折率の積) が最小となる温度が、温度範囲のほぼ中心にあり、波長特性の温度依存性が最も小さくなっている。このように、透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が 2 次的 (2 次関数のように振る舞う) であることを考慮して、所望の温度範囲で透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にすることにより、波長特性の温度依存性を限りなく零に近くすることができる。

【0038】次に、本実施形態の構成のソリッドエタロンを実際に 10 個作製し、透過光ピークの波長シフト量を測定した結果を図 9 に示す。同図から分かるようにほぼ計算値と同様の結果が得られ、 $0\sim 85^\circ\text{C}$ の温度範囲で 0.015nm 程度と非常に小さい波長シフトであった。

【0039】本実施形態では、透明体基板として LaC14 (HOYA 製)、板状体として S-FPL53 (オハラ製) を用いたが、このガラス以外でもほぼ同様の物性値を有するガラスならば、代わりに用いることができる。例えば、LaC14 (HOYA 製) の代わりに S-LAL14 (オハラ製)、N14 (SCHOTT 製) 等を、また S-FPL53 (オハラ製) の代わりに FCD100 (HOYA 製) などを用いることができる。

【0040】また、物性値が多少異なるガラスを組み合わせたとしても、透明体薄板の厚さに対する板状体の厚さを最適に調整することにより、波長特性の温度依存性を零に近くすることが可能である。

【0041】このように本発明では、透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が 2 次的であることを考慮して、所望の温度範囲で透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度を、所望の温度範囲のほぼ中心にすることにより、波長特性の温度依存性を限りなく零に近くすることであり、板状体や透明体薄板の材料や厚さが必ずしも本実施形態のものに限定されるわけではない。

【0042】図 10 は、本実施形態における有限要素法において得られた透明体薄板の形状に関する結果である。温度が上昇すると、透明体薄板 10 は膨張し、屈折率変化を生じる。このとき、透明体薄板 10 の熱膨張係数よりも大きな熱膨張係数を持つ板状体 11 は透明体薄板 10 よりも多く膨張して、透明体薄板 10 を引っ張る。これにより、透明体薄板 10 は機械的に厚さが薄くされて、透明体薄板 10 の厚さと屈折率の積が一定に保たれる。

【0043】しかし、実際には、同図の矢印で示されるような引っ張り力が透明体薄板 10 に働くので、光素子あるいはソリッドエタロンの周辺部では、引っ張り力が透明体薄板 10 を横方向に引っ張る方向からそれてしま

が十分に得られず、透明体薄板 10 が他の部分よりも厚くなってしまう。このように、透明体薄板 10 が厚いまま残ってしまう周辺部では、光学的距離 (厚さと屈折率の積) が一定には保たれないので、光素子として使用することができない。

【0044】本実施形態の有限要素法による計算によると、透明体薄板 10 の厚さが $60\mu\text{m}$ 、板状体 11 の厚さがそれぞれ $500\mu\text{m}$ で 2mm 四方のソリッドエタロンを形成したところ、素子の中心部の 1mm 四方程度の範囲では、光学的距離を一定に保つ効果が十分に得られることが分かった。

【0045】従って、本実施形態のような光素子を使用する場合には、素子の中心部を使用するようにすればよい。なお、上記説明では、波長シフト量が 2 次関数的に振る舞うと述べたが、実際には、より高次の影響も反映されている。しかし、これら高次の影響が非常に小さいので実用上波長シフト量あるいは透明体薄板の屈折率と厚さの積が 2 次関数的に振る舞うとしても問題はない。実際、波長シフト量の 2 次関数的な振る舞いは現時点の実験における測定限界に近い変化であり、これより高次の影響はほとんどないと考えてもよいということになる。

【0046】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、両面に光を反射する反射膜を有する透明体薄板と、透明体薄板と異なる材質で構成され、透明体薄板の両面に接着された、透明体薄板よりも熱膨張係数の大きい板状体とを有し、温度変化によって生じる透明体薄板の厚さと屈折率との積による変化が、板状体の温度変化に伴って生じる体積の変化により透明体薄板が変形されることによって相殺され、透明体の厚さと屈折率の積が近似的に不変に保たれるソリッドエタロンにおいて、透明体の厚さと屈折率の積の温度による変化が 2 次的であり、所望の温度範囲で透明体の厚さと屈折率の積が最小となる温度が、所望の温度範囲のほぼ中心にあるので、波長特性の温度依存性が限りなく零に近いソリッドエタロンを提供することができる。

【0047】あるいは、本発明によれば、内部で光を反射させる透明体薄板と、前記透明体薄板両面のうちの少なくとも一面に接着され、前記透明体薄板の熱膨張係数よりも大きな熱膨張係数を有する板状体とを備え、温度の変化による該透明体薄板の屈折率と厚さの積が、使用温度範囲のほぼ中間の温度で最小になるような光素子を提供することができる。

【0048】このようなソリッドエタロンあるいは光素子によれば、温度の変化による素子の特性の変化をほとんど零にすることができ、温度変化に対して安定した光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施形態を説明する図である。

13

【図2】ソリッドエタロンの透明体薄板の厚さと屈折率の温度変化の計算結果を示す図である。

【図3】ソリッドエタロンの光学的距離の温度変化の計算結果を示す図である。

【図4】ソリッドエタロンの温度変化による波長シフト量の計算結果を示す図である。

【図5】図4の計算結果において、波長シフト量の軸を拡大して示した図である。

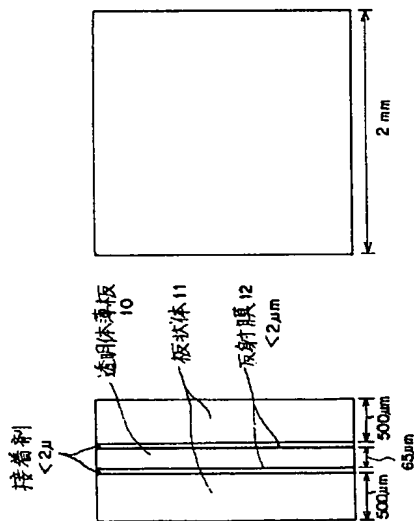
【図6】透明体薄板の屈折率の温度係数の温度の変化に対する変化の様子を示した図である。

【図7】透明体薄板と板状体の熱膨張係数の温度変化の様子を示した図である。

【図8】板状体の厚さの変化に対するソリッドエタロンの波長シフト量を示した図である。

【図1】

本発明の実施形態を説明する図



14

【図9】実際に作製されたソリッドエタロンの温度変化に対する波長シフト量の変化を示す図である。

【図10】本実施形態のソリッドエタロンにおいて、温度が上昇したときの透明体薄板に働く引っ張り力と透明体薄板の形状を説明する図である。

【図11】従来の光学フィルタとこれらが有する問題点を説明する図である。

【図12】ソリッドエタロンの透過光の強度を波長に対して記載したものである

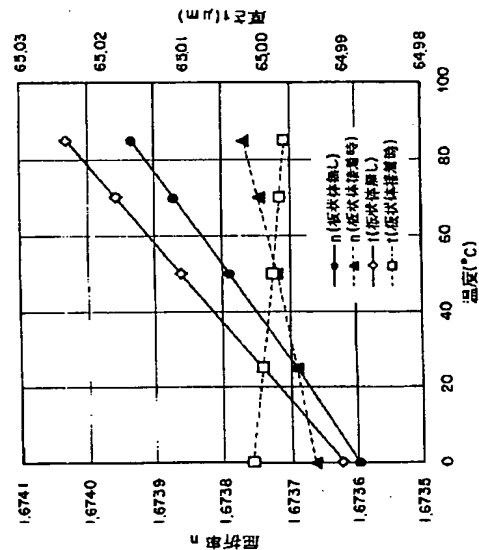
10

【符号の説明】

- 10 透明体薄板
- 11 板状体
- 12 反射膜

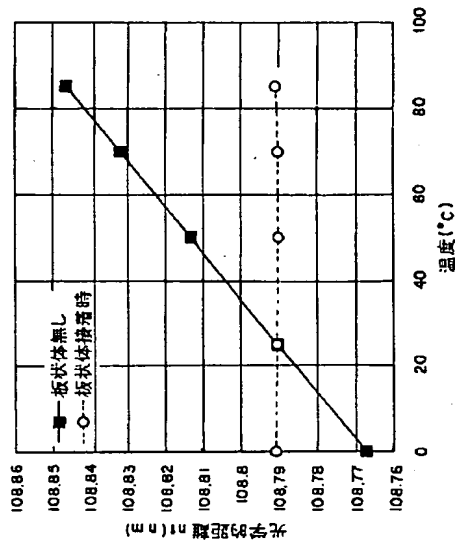
【図2】

ソリッドエタロンの透明体薄板の厚さと屈折率の温度変化の計算結果を示す図



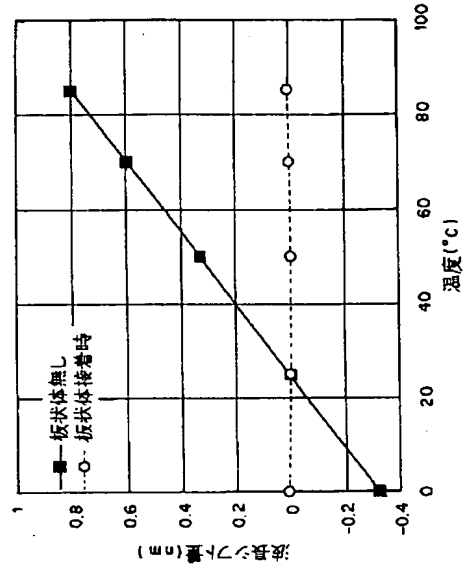
【図3】

ソリッドエタロンの光学的距離の温度変化
の計算結果を示す図



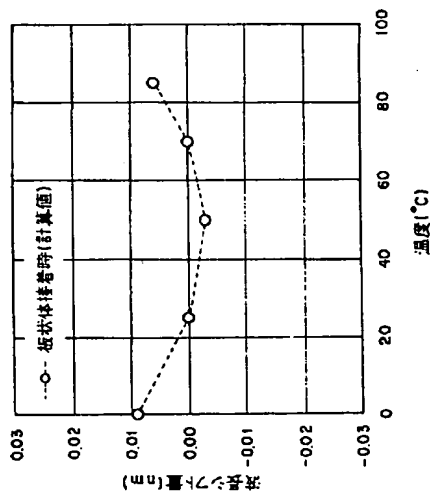
【図4】

ソリッドエタロンの温度変化による波長シフト
量の計算結果を示す図



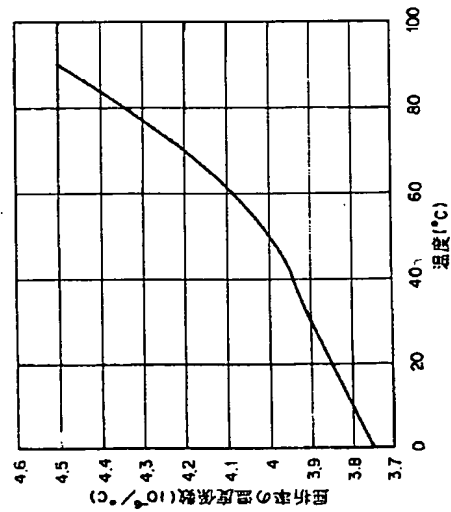
【図5】

図4の計算結果において、波長シフト量の
軸を拡大して示した図



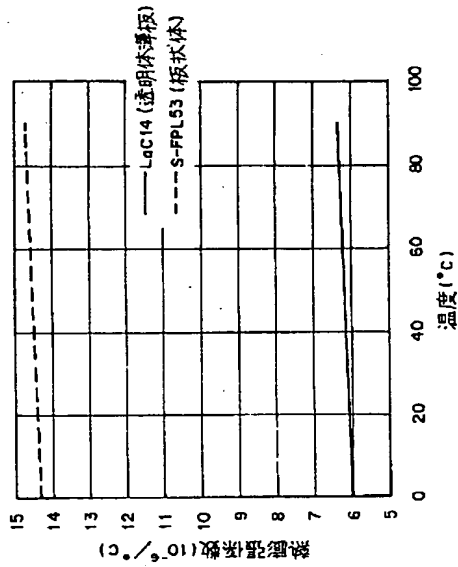
【図6】

透明体薄板の屈折率の温度係数の
温度の変化に対する変化の様子を示した図



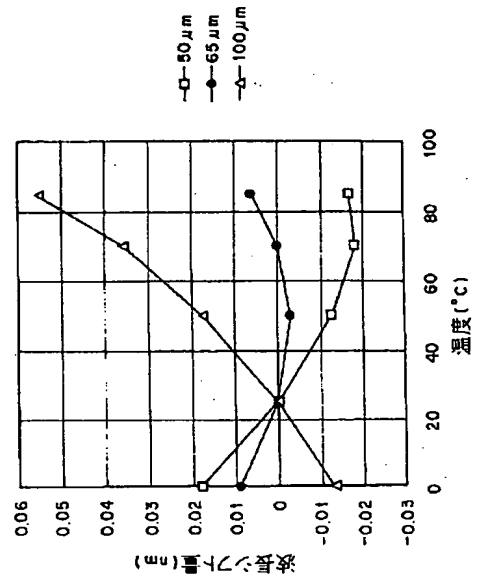
【図7】

透明体薄板と板状体の熱膨張係数の
温度変化の様子を示した図



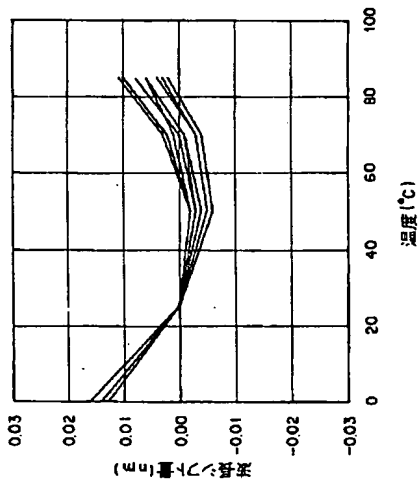
【図8】

板状体の厚さの変化に対するソリッドエタロンの
波長シフト量を示した図



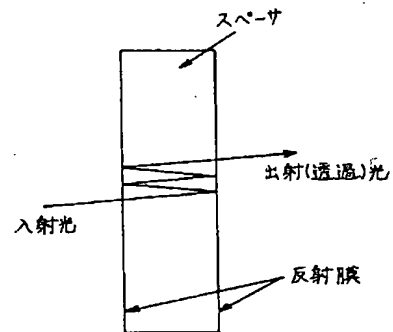
【図9】

実際に作製されたソリッドエタロンの温度変化
に対する波長シフト量の変化を示す図



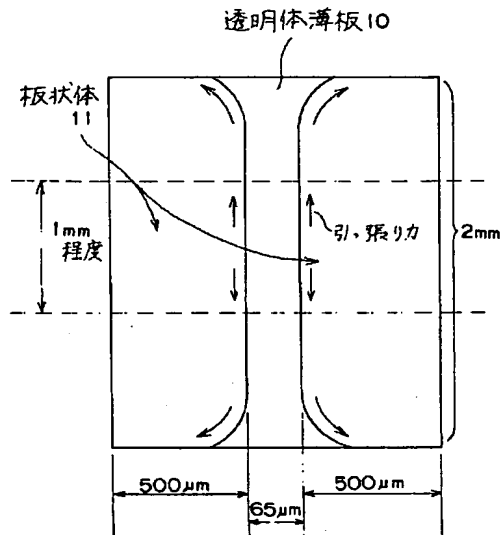
【図11】

従来の光学フィルタとこれらが有する
問題点を説明する図



【図10】

本実施形態のソリッドエタロンにおいて、温度が上昇した時の透明体薄板に働く引張り力と透明体薄板の形状を説明する図



【図12】

ソリッドエタロンの透過光の強度を波長に対して記載した図

